

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลม โดยใช้วิธีการแจกแจงแบบ Weibull และ Rayleigh (กรณีศึกษาที่ โครงการเกษตรที่สูงตามพระราชดำริ ดอยม่อนล้าน, เชียงใหม่)

Wind Power Potential Analysis Based on the Weibull and Rayleigh Distribution

(Case Study at Monlan Royal Project, Chiang Mai)

ธเนศ ไชยชนะ¹, สัมพันธ์ ไชยเทพ² และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี³

¹นักศึกษาศาสาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

โทรศัพท์ 0815406768, E-mail: Tanatecha@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

โทรศัพท์ 053942005, E-mail: Sumpun@hotmail.com

³ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่

โทรศัพท์ 053-875140 E-mail: Natthawudu@Yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาศักยภาพของพลังงานลมโดยใช้วิธีการแจกแจงแบบ Weibull และ Rayleigh ในการวิเคราะห์ โดยใช้ข้อมูลจากเสาวัดลมที่โครงการเกษตรที่สูงตามพระราชดำริ ดอยม่อนล้าน จังหวัดเชียงใหม่ ทำการเก็บข้อมูลความเร็วที่ระดับความสูง 20, 30 และ 40 เมตรจากพื้น และเก็บข้อมูลทิศทางลมที่ระดับความสูง 40 เมตรจากระดับพื้น ทุกๆ 10 นาที ผลการศึกษาพบว่า ลมส่วนมากพัดมาจาก ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ด้วยความเร็วลมเฉลี่ย 4.86 เมตร/วินาที ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.11 เมตร/วินาที ความเร็วลมในช่วงเวลากลางคืนมีค่าสูงกว่าในเวลากลางวัน และความเร็วลมในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูหนาว เมื่อพิจารณากาลังลมพบว่ากาลังลมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 75.04 วัตต์/ตารางเมตรที่ระดับความสูง 40 เมตรจากพื้นดิน และพบว่าสมการการแจกแจงแบบ Weibull มีความแม่นยำในการทำนายค่าการแจกแจงของข้อมูลมากกว่า สมการการแจกแจงแบบ Rayleigh

Abstract

The wind power potential at Monlan Royal Project, Chiang Mai Province, THAILAND was studied based on the Weibull and Rayleigh distribution model. The wind speed data and wind direction was averaged and recorded every 10 minutes. The wind speed was measured at a height of 20, 30 and 40 m above ground level by cup type anemometer. The wind direction was measured by wind vane at a height of 40 m above ground level. It was found that wind was from N.W. to S.E. direction. The yearly average of wind speed was 4.86 m/s with the standard deviation values of 2.11 m/s. Wind speed at night was high than wind speed at day. The yearly average of wind power value was 75.04 W/m² at a height of 40 m above ground level. The Weibull distribution provided better power density estimations than the Rayleigh distribution.

1. คำนำ (Introduction)

ระบบผลิตไฟฟ้าในพื้นที่โครงการตามพระราชดำริ ชุมชนในพื้นที่สูงและชุมชนห่างไกลจะเป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้น้ำมัน ทั้งนี้จะพบปัญหาที่คล้ายกันคือปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการและไม่เสถียรภาพอันเนื่องมาจากผลของธรรมชาติ เช่น การขนส่งน้ำมันไม่สามารถทำได้ในฤดูฝนเนื่องจากถนนถูกตัดขาด ประกอบกับมีเมฆมากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ และปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ ที่มีในพื้นที่มาใช้ประโยชน์เพื่อสร้างเสถียรภาพด้านพลังงานในพื้นที่ เช่น การใช้พลังงานชีวมวล พลังงานชีวภาพ การผลิตไบโอดีเซล และพลังงานทดแทนอื่นๆ ลมจึงเป็นพลังงานทดแทนหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในรูปของพลังงานกล และเพื่อการผลิตไฟฟ้า

โครงการเกษตรที่สูงตามพระราชดำริ ดอยม่อนล้าน จังหวัดเชียงใหม่ เป็นพื้นที่ส่งเสริมการเกษตรที่สูงโดยความร่วมมือของหลายหน่วยงาน เช่น ศูนย์วิจัยข้าว พื้นที่ส่งเสริมให้ชุมชนมีอาชีพที่สามารถเลี้ยงตัวเองได้ โดยมีประชากร ประมาณ 50 ครัวเรือน มีการส่งเสริมอาชีพทางการเกษตร และประมงน้ำจืด พื้นที่เป็นหมู่บ้านกลางหุบเขา สลับซับซ้อน ระบบผลิตไฟฟ้าของโครงการฯ เป็นระบบ Solar home system และของศูนย์ราชการเป็นการปั่นไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งประสบปัญหาคือปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการและจากการสำรวจเบื้องต้น พบว่า ลมในพื้นที่เป็นลมที่มีความเร็วค่อนข้างสูง (ประมาณ 4.0-7.0 เมตร/วินาที) ทั้งนี้ เนื่องจากสภาพพื้นที่ที่มีหุบเขาปิดล้อม 2 ข้างของ อ.พร้าว และส่งผลเข้าสู่ดอยม่อนล้านโดยตรง จึงคาดการณ์ว่า จะมีผลที่ดีตลอดทั้งปี ประกอบกับพื้นที่ของหน่วยราชการที่สามารถทำการติดตั้งระบบเก็บข้อมูล และเป็นพื้นที่ที่อยู่บริเวณลาดเขา ไม่มีต้นไม้กั้นทางเคลื่อนที่ของลม ซึ่งจะส่งผลดีต่อระบบกังหันลมในการผลิตไฟฟ้า

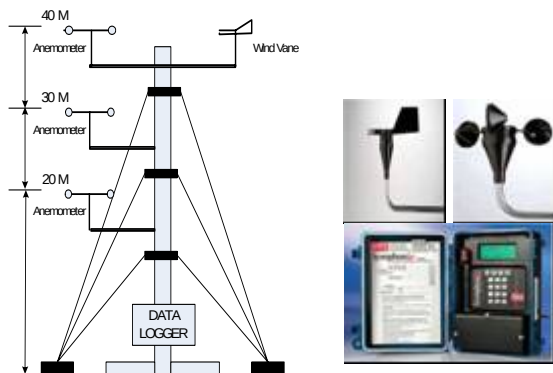


รูปที่ 1 ลักษณะพื้นที่ของดอยม่อนล้าน [1]

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่โครงการเกษตรที่สูงตามพระราชดำริ ดอยม่อนล้าน จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้วิธีการแจกแจงแบบ Weibull และ Rayleigh ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาพารามิเตอร์ต่างๆ ในการอธิบายศักยภาพ และเปรียบเทียบความแม่นยำของการแจกแจงทั้ง 2 วิธีในการใช้งานด้านการวิเคราะห์พลังงานลม

2. ข้อมูล (Data)

เสาวัดความเร็วลมมีความสูง 40 เมตร ติดตั้งที่โครงการเกษตรที่สูงดอยม่อนล้าน อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ที่พิกัด $19^{\circ}25.821' N$; $99^{\circ}18.310' E$ สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,573 เมตร



รูปที่ 2 ของเสาวัดข้อมูล เครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย
สรลม และเครื่องบันทึกข้อมูล

ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วยที่ 3 ระดับความสูง คือ 20, 30 และ 40 เมตรจากพื้นดิน และสรลมเพื่อวัดทิศทางลมที่ระดับความสูง 40 เมตรจากพื้นดิน ทำการวัดข้อมูลทุกๆ วินาที และบันทึกข้อมูล ความเร็วลมเฉลี่ย ความเร็วลมต่ำสุด และความเร็วลมสูงสุดลงเครื่องบันทึกข้อมูล ทุกๆ 10 นาที ช่วงของข้อมูลที่น่าวิเคราะห์คือข้อมูลจากเดือน กรกฎาคม 2550 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2551

3. ความเร็วลมเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทิศทางของลม (Average wind speed, standard deviation and wind direction)

การวิเคราะห์ความเร็วลมเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงเวลาที่พิจารณาเช่นความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน สามารถคำนวณได้

จากการทำ Wind speed frequency distribution ในรูปกราฟที่เรียกว่า histogram ซึ่งสามารถนำมาคำนวณความเร็วลมเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ ดังสมการที่ 1 และ 2 [2] และผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 1 โดยความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 40 เมตรจากพื้นดินเท่ากับ 4.86 เมตร/วินาที ที่ค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.11 เมตร/วินาที และพบว่าความเร็วลมโดยเฉลี่ยของช่วงเวลากลางคืนจะมีค่าสูงกว่าช่วงเวลากลางวันประมาณ 0.6 เมตร/วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3

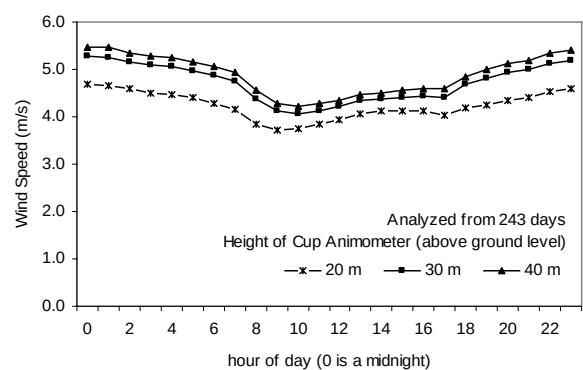
$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_B} m_i n_i \quad (1)$$

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left\{ \sum_{i=1}^{N_B} m_i^2 n_i - N(\bar{V})^2 \right\}} \quad (2)$$

เมื่อ $\bar{V}$ คือ ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ตรวจวัด, (m/s) σ_V คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, (m/s) m_i คือ ความเร็วลมที่ตำแหน่งกึ่งกลางของช่วง i (m/s) n_i คือ จำนวนชั่วโมงรวมในช่วง i (h) N คือ จำนวนชั่วโมงทั้งหมดที่ทำการตรวจวัด (h) และ N_B คือ จำนวนช่วง

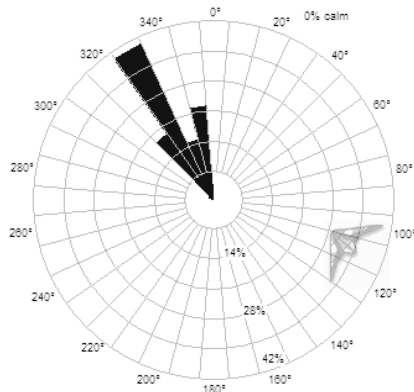
ตารางที่ 1 ค่ารายเดือนที่ความสูง 40 เมตรจากพื้นดิน

เดือน	$\bar{V}$ (m/s)	σ_V (m/s)	k	c (m/s)
ก.ค.-50	6.35	1.95	3.69	6.52
ส.ค.-50	4.94	2.66	1.74	4.97
ก.ย.-50	4.09	1.94	1.84	3.75
ต.ค.-50	4.41	2.34	1.77	3.70
พ.ย.-50	5.24	2.07	2.82	4.58
ธ.ค.-50	4.23	1.85	2.82	4.58
ม.ค.-51	4.36	2.19	2.08	4.53
ก.พ.-51	5.27	1.91	3.16	5.42
เฉลี่ย ฤดูฝน	4.95	2.22	2.26	4.74
ฤดูหนาว	4.70	2.04	2.58	4.82



รูปที่ 3 การกระจายของลมรายชั่วโมง

การวิเคราะห์ทิศทางของลมใช้วิธีการพิจารณาเช่นเดียวกับการพิจารณาความเร็วลม คือ พิจารณาทิศทางของลมเป็นช่วง และความถี่ที่ลมพัดมา ผลการพิจารณาพบว่า ลมส่วนมากพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือสู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ดังแสดงในรูปที่ 4



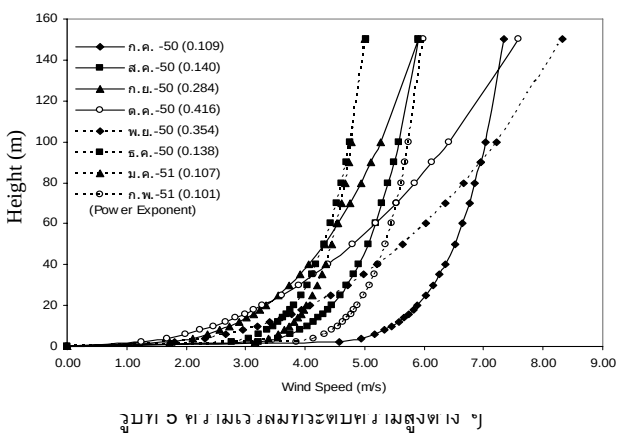
รูปที่ 4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของลมเข้าสู่จุดวัด

4. Wind Shear Coefficients

เนื่องจากความเร็วลมที่ผิวพื้นมีค่าเท่ากับ 0 และมีค่าสูงขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความสูงประมาณ 2 กิโลเมตร ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมจะเริ่มคงที่ [3] ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเร็วของลมจึงต้องทำการพิจารณาค่าคงที่ของลักษณะการเพิ่มขึ้นของความเร็วลม (Wind Shear Coefficient) เทียบกับความสูงเพื่อใช้ในการหาค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ ที่ไม่ได้ทำการวัดความเร็วลม ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กฎของเพาเวอร์ในการพิจารณา ดังแสดงในสมการที่ 3 ลักษณะของความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นที่ระดับความสูงต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 5 ซึ่ง เมื่อค่า Wind Shear Coefficient มีค่าสูง อัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วเมื่อความสูงมากขึ้น จะมีค่ามากกว่าในกรณีที่ Wind Shear Coefficient มีค่าต่ำ

$$V_{(Z)} = V_r \left(\frac{Z}{Z_r} \right)^\alpha \quad (3)$$

เมื่อ Z คือ ระดับความสูง (m) ที่ต้องการทราบค่าความเร็วลม วัดจากพื้นดิน Z_r คือ ระดับความสูง (m) ที่ทราบค่าความเร็วลม วัดจากพื้นดิน V_r คือ ความเร็วลม (m/s) ที่ระดับความสูง Z_r V_z คือ ความเร็วลม (m/s) ที่ต้องการทราบค่าที่ ระดับความสูง Z และ α คือ ค่า Wind Shear Coefficient



รูปที่ 5 ภาพความเร็วลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ

5. การวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม (Wind speed distribution analysis)

รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 1 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลความเร็วลมในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการ 3 วิธี คือ การแจกแจงของค่าที่ได้จากการตรวจวัด, $f(V)$ การแจกแจงของค่าที่พิจารณาจากสมการ Weibull (สมการที่ 4) และการแจกแจงที่พิจารณาจากสมการ Rayleigh (สมการที่ 5) ตัวอย่างค่าการพิจารณาซึ่งเป็นค่าของเดือน กรกฎาคม 2550 ที่ระดับความสูง 40 เมตรจากพื้นดิน แสดงดังตารางที่ 2 และแจกแจงความถี่ของเดือนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6 โดยพบว่าความถี่ของลมที่พัดมาจะอยู่ในช่วง 3 - 7 เมตร/วินาที

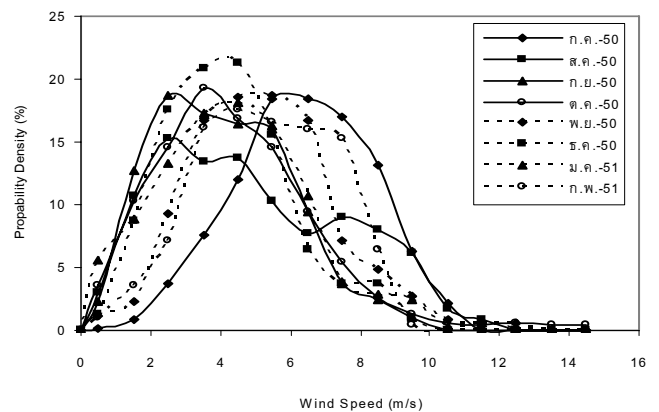
$$f(V)_w = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (4)$$

$$f(V)_R = \frac{\pi}{2} \frac{V}{V^2} \exp \left[- \left(\frac{\pi}{4} \right) \left(\frac{V}{V^2} \right)^2 \right] \quad (5)$$

เมื่อค่า C คือ พารามิเตอร์ระดับ (Scale Parameter) และค่า k คือ พารามิเตอร์รูปร่าง (Shape Parameter)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่าการแจกแจงความถี่ที่พิจารณาจาก การตรวจวัด, สมการ Weibull และ สมการ Rayleigh (เดือนกรกฎาคม 2550) ระดับความสูง 40 เมตรจากพื้นดิน

Rang (m/s)	m_i (m/s)	$f(V)$	$f(V)_w$	$f(V)_R$
0-1	0.5	0.1	0.1	1.9
1-2	1.5	0.8	1.1	5.6
2-3	2.5	3.8	4.2	8.6
3-4	3.5	7.6	9.6	10.7
4-5	4.5	12.1	16.2	11.8
5-6	5.5	18.5	21.0	11.9
6-7	6.5	18.5	20.9	11.1
7-8	7.5	17.0	15.4	9.8
8-9	8.5	13.1	8.1	8.1
9-10	9.5	6.3	2.8	6.4
10-11	10.5	2.1	0.6	4.8
11-12	11.5	0.0	0.1	3.4
12-13	12.5	0.0	0.0	2.3



รูปที่ 6 ลักษณะการแจกแจงความถี่ของความเร็วลม รายเดือน

6. การวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ของกำลังลม (Power density distribution analysis)

กำลังลมเป็นค่าที่แปรผันตามความเร็วลมยกกำลังสาม ซึ่งกำลังลมต่อหน่วยพื้นที่สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 6 คือ

$$P(V) = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (6)$$

และกำลังลมต่อหน่วยพื้นที่สำหรับการแจกแจงแบบ Weibull และ Rayleigh สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 7 และ สมการที่ 8 คือ [4]

$$P(V)_W = \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma \left[1 + \frac{3}{k} \right] \quad (7)$$

$$P(V)_R = \frac{3}{\pi} \rho \bar{V}^3 \quad (8)$$

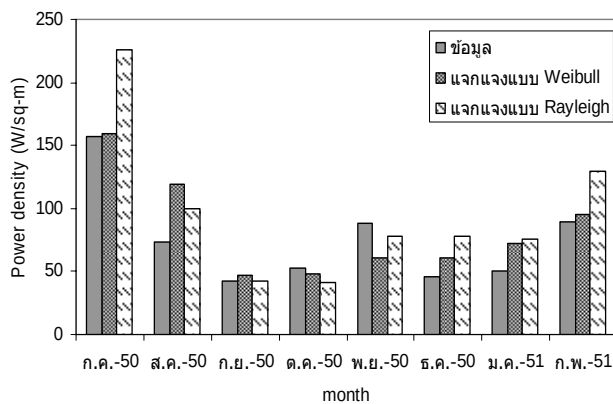
เมื่อ $\Gamma(x)$ คือ Gamma function

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-t} t^{x-1} dt \quad (9)$$

และ Gamma function สามารถประมาณโดย [5]

$$\Gamma(x) = (\sqrt{2\pi x}) (x^{x-1}) (e^{-x}) \left(1 + \frac{1}{12x} + \frac{1}{288x^2} - \frac{139}{51840x^3} + \dots \right) \quad (10)$$

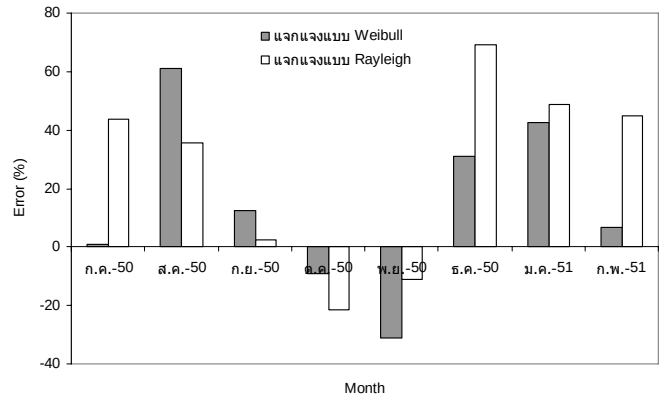
จากสมการที่ 6, 7 และ 8 สามารถพิจารณาค่ากำลังลมต่อหน่วยพื้นที่รายเดือน แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การแจกแจงความถี่ของกำลังลมรายเดือน

จากค่ากำลังลมที่คำนวณ จากสมการที่ 6 สมการที่ 7 และสมการที่ 8 เมื่อทำการพิจารณาค่าความผิดพลาดของการประมาณค่า ระหว่างสมการการแจกแจงแบบ Weibull และ Rayleigh พบว่า สมการการแจกแจงแบบ Weibull มีความแม่นยำในการทำนายค่าการแจกแจงของกำลังลมมากกว่า สมการการแจกแจงแบบ Rayleigh ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งแสดงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงและค่าที่คำนวณได้จากสมการการแจกแจงแบบ Weibull และ Rayleigh ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนคำนวณจากสมการที่ 11

$$Error(\%) = \frac{P(V)_{Model(W,R)} - P(V)}{P(V)} \quad (11)$$



รูปที่ 8 ค่าความผิดพลาดของสมการการแจกแจงเมื่อเทียบกับข้อมูลจริง

7. สรุปผลการศึกษา (Conclusion)

จากการพิจารณาภายใต้จุดประสงค์ เพื่อศึกษาศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่โครงการเกษตรที่สูงตามพระราชดำริ ดอยม่อนล้าน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 4.86 เมตร/วินาที ที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.11 เมตร/วินาที และพัดมาจากทางทิศ ตะวันตกเฉียงเหนือ ของจุดวัด
2. อัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วเทียบกับความสูงแปรผันตรงกับค่า Wind Shear Coefficient
3. ความเร็วลมในช่วงเวลากลางคืนมีค่าสูงกว่าในเวลากลางวัน และความเร็วในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูหนาว
4. กำลังลมเฉลี่ยในช่วงที่ทำการศึกษามีค่าเท่ากับ 75.04 วัตต์/ตารางเมตร
5. สมการการแจกแจงแบบ Weibull มีความแม่นยำในการทำนายค่าการแจกแจงของข้อมูลมากกว่า สมการการแจกแจงแบบ Rayleigh

8. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ PARA and FAME Laboratory คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โครงการเกษตรที่สูงตามพระราชดำริ ดอยม่อนล้าน อ.พร้าว จ.เชียงใหม่ ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดเชียงใหม่

9. เอกสารอ้างอิง (Bibliography)

- [1] Google Earth Program, รูปประกอบ, 25 มีนาคม 2551
- [2] J. F. Manwell., J. G. McGowan. and A. L. Rogers. 2002. Wind Energy Explained. John Wiley & Sons, Baffins Lane, Chic Hester, West Sussex PO19 1UD, England
- [3] John F. Walker. and Nicholas Jenkins. 1997. Wind Energy Technology. John Wiley & Sons. Baffins Lane, Chic Hester, West Sussex PO19 1UD, England
- [4] Ali Naci Celik. 2003. Statistical analysis of wind power density Based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey. Renewable Energy V29. 593-604.

- [5] Jamil, M. 1994. Wind Power Statistic and Evaluation of Wind Energy Density, Wind Engineering, 18, No.5, 227-240.